

## **ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO DA INCIDÊNCIA DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA NO MATO GROSSO DO SUL**

**Rafael Fausto de Lima**  
IFMS  
rafael.lima2@estudante.ifms.edu.br

**Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido**  
IFSULDEMINAS  
lucas.aparecido@muz.ifsuldeminas.edu.br

**Gabriel Henrique de Olanda Souza,**  
IFMS  
gabriel.souza4@estudante.ifms.edu.br

**José Reinaldo da Silva Cabral de Moraes**  
UNESP  
reinaldojmoraes@gmail.com.br

**Guilherme Botega Torsoni**  
IFMS  
guilherme.torsoni@ifms.edu.br

### **RESUMO**

A soja é uma importante commodity para o agronegócio brasileiro sendo cultivada em várias regiões. Entretanto, as doenças são responsáveis por reduzir a produção. No Mato Grosso do sul a cultura da soja representa uma importante fonte de desenvolvimento econômico. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento potencial da ferrugem asiática da soja nas condições climáticas das regiões produtivas do Estado do Mato Grosso do Sul. Dessa forma, foram coletados dados climáticos de temperatura e umidade relativa do ar no período de 1990 – 2020, extraídos da plataforma NASA/POWER e utilizados para determinar o desenvolvimento da ferrugem asiática da soja (DFAS). Utilizando um sistema de informações geográficas (SIG) foram mapas para a DFAS no Mato Grosso do Sul. As variáveis climáticas analisadas demonstraram grande variabilidade espacial e temporal na região de estudo. O desenvolvimento da ferrugem asiática da soja apresentou ocorrência da classe alta nas regiões sul (setembro a novembro) e nordeste (dezembro a fevereiro) do Estado, com predomínio abaixo de 8%. A classe média para DFAS apresentou maior predomínio em janeiro e fevereiro com 70,5% e 73,5% respectivamente. A classe baixa foi mais expressiva nos meses de outubro e novembro com 85,9% e 77,1% respectivamente.

**Palavras-chave:** Agrometeorologia; Molhamento foliar; Temperatura do ar; Doenças da soja; *Phakopsora pachyrhizi*.

### **1 INTRODUÇÃO**

Com alta relevância a nível mundial, a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) é tida como uma das principais fontes de alimento para consumo humano e animal (BÁEZ et al., 2020). A commodity é responsável pela forte contribuição e arrecadação no setor do agronegócio brasileiro (SCHMIDT et al., 2020). Em 2020, o agronegócio foi responsável por 26,57% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (CPEA, 2020). Atualmente no Brasil, a soja é plantada em mais de 38,5 milhões de hectares com uma produção de aproximadamente 136 milhões de toneladas (CONAB, 2021).

Uma das principais doenças acometidas a cultura da soja em áreas destinadas a produção é a ferrugem asiática (BERUSKI et al., 2019). A ferrugem asiática da soja (FAS) é causada pelo fungo biotrófico *Phakopsora pachyrhizi* (QI et al., 2018), patógeno que ameaça a produção de soja em todo o mundo, em especial as principais áreas de cultivo de soja na América do Sul (LANGENBACH et al., 2016), interferindo de forma direta na rentabilidade das lavouras (BERUSKI et al., 2018), reduzindo a produtividade e aumentando a carga de pesticidas nos sistemas de cultivo (CHILDS et al., 2018) causando perdas acima de 90% (HARTMAN et al., 2015).

Nas lavouras brasileiras de soja, a ferrugem asiática gera prejuízos entorno de dois bilhões de dólares por safra, considerando as perdas econômicas pela diminuição da produção e o custo de controle da doença (XAVIER et al., 2015). Atualmente, o uso de fungicidas é o meio mais eficaz para controlar a FAS (LANGENBACH et al., 2016).

A ocorrência de FAS nas lavouras dependem de diversos fatores, principalmente, os relacionados a condições climáticas de temperatura e umidade relativa do ar, responsáveis por interferir em todos os processos biológicos do fungo (IGARASHI et al., 2018). Outra variável importante é a duração do molhamento foliar (DPM), uma variável importante que está diretamente relacionada à taxa de infecção e desenvolvimento de patógenos (JIAN et al., 2020).

Uma das formas eficiente de controlar o desenvolvimento da FAS é através da eliminação de plantas de soja voluntárias no período de vazio sanitário e utilização de cultivares com ciclo precoce (ARAÚJO; GODOY, 2019). Quando o fungo já está instalado, o uso de fungicidas continua sendo o principal método de controle utilizado (SILVA et al., 2020).

A ferrugem asiática causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* demonstra grande potencial limitador para o desenvolvimento e expansão da cultura da soja. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento potencial da ferrugem asiática da soja nas condições climáticas das regiões produtivas do Estado do Mato Grosso do Sul.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

No quesito do agronegócio mundial e nacional a soja encontra-se economicamente como um dos principais produtos agrícolas, sendo, no Brasil, a principal cultura em extensão de área e volume de produção (OLIVEIRA; FERREIRA, 2020). A crescente demanda mundial por alimentos mantém a soja como umas das principais fontes de proteína vegetal, sendo componente essencial na fabricação de rações animais e com relevância cada vez mais expressiva na alimentação humana (COLUSSI et al., 2016).

Na conjuntura de cultivos agrícolas nacional, dois grãos (soja e milho) em conjunto com a cana-de-açúcar, são responsáveis por formar a tríade dos produtos agrícolas mais cultivados no Brasil (HIRAKURI et al., 2020). De acordo com Hirakuri (2021), cultura da soja se tornou a principal commodity do agronegócio brasileiro, com uma gama de programas robustos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PDI) e transferência de tecnologia (TT), que permitiram gerar e difundir um conjunto de tecnologias e conhecimentos fundamentais para aumentar o potencial produtivo das lavouras. Fatores como esses permitiram o Brasil se tornar o maior produtor mundial de soja, superando os Estados Unidos.

Além dos efeitos positivos na balança comercial, o agronegócio, em especial sobre a soja, gera empregos, renda e contribui para diminuição dos custos de alimentos, inclusive de origem animal (NEPOMUCENO et al., 2021). A produção da soja pode ser afetada por diferentes tipos de climas interagindo com diferentes tipos de solos, características de relevo, variações de altitude, regimes pluviométricos, afetando as condições edafoclimáticas de um determinado local e, por consequência, a produção da soja (HIRAKURI, 2021). Fatores como esses interferem diretamente na ocorrência de doenças nas lavouras.

De acordo com Gardiano et al. (2010), existem mais de 50 doenças relacionadas a cultura da soja catalogadas no Brasil e, dentre essas doenças, a ferrugem asiática causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, é a que provoca maiores níveis de danos à cultura, devido a sua rápida disseminação e virulência. A ferrugem asiática da soja, ocorre em todas as regiões de produção de soja do mundo, sendo caracterizada como a doença foliar mais destrutiva da soja podendo causar perdas de rendimento superiores a 80% (ROSA; SPEHAR; LIU, 2015). No Brasil a doença foi relatada a primeira vez em 2001 (ISHIWATA; FURUYA, 2020).

Diferente de outros fungos de ferrugem altamente especializados, o *Phakopsora pachyrhizi* tem uma ampla gama de hospedeiros sendo capaz de infectar mais de 150 espécies de plantas em mais de 53 gêneros, incluindo soja, e outros hospedeiros pertencentes a família

das Fabaceae (HERSHMAN et al., 2011).

O sintoma típico da doença são pequenas lesões de cor castanha formadas principalmente na superfície abaxial dos folíolos da soja (ISHIWATA; FURUYA, 2020), local correspondente a formação das urédias (DE OLIVEIRA et al., 2020), onde são formados os esporos denominados urediniósporos que são dispersos pelo vento e começam a germinar em condições ambientais favoráveis, logo após que se depositam sobre a superfície foliar do hospedeiro (GOELLNER et al., 2010). Na presença de água e temperatura entre 21 e 25 ° C, os urediniósporos depositados na superfície da folha do hospedeiro inicia o processo de germinação e infecção (REIS et al., 2012). O *Phakopsora pachyrhizi* é um patógeno biotrófico, depende de tecidos vegetais vivos para completar seu ciclo de vida (EINHARDT et al., 2020). Plantas severamente infectadas apresentam desfolha precoce, o que compromete a formação, o enchimento de vagens e o peso final do grão (GODOY et al., 2018).

A ferrugem da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, apresenta uma das maiores ameaças à produção de soja na África devido à sua rápida disseminação como resultado da facilidade com que seus esporos são dispersos pelo vento (MURITHI et al., 2016). No Brasil a ferrugem asiática é uma das ameaças mais graves, com potencial de reduzir produção de soja e conseqüentemente, a produção de óleo de soja e torta, provocando impactos significativos no mercado global de soja, visto que o Brasil é um grande player neste setor (ISHIWATA, FURUYA, 2020).

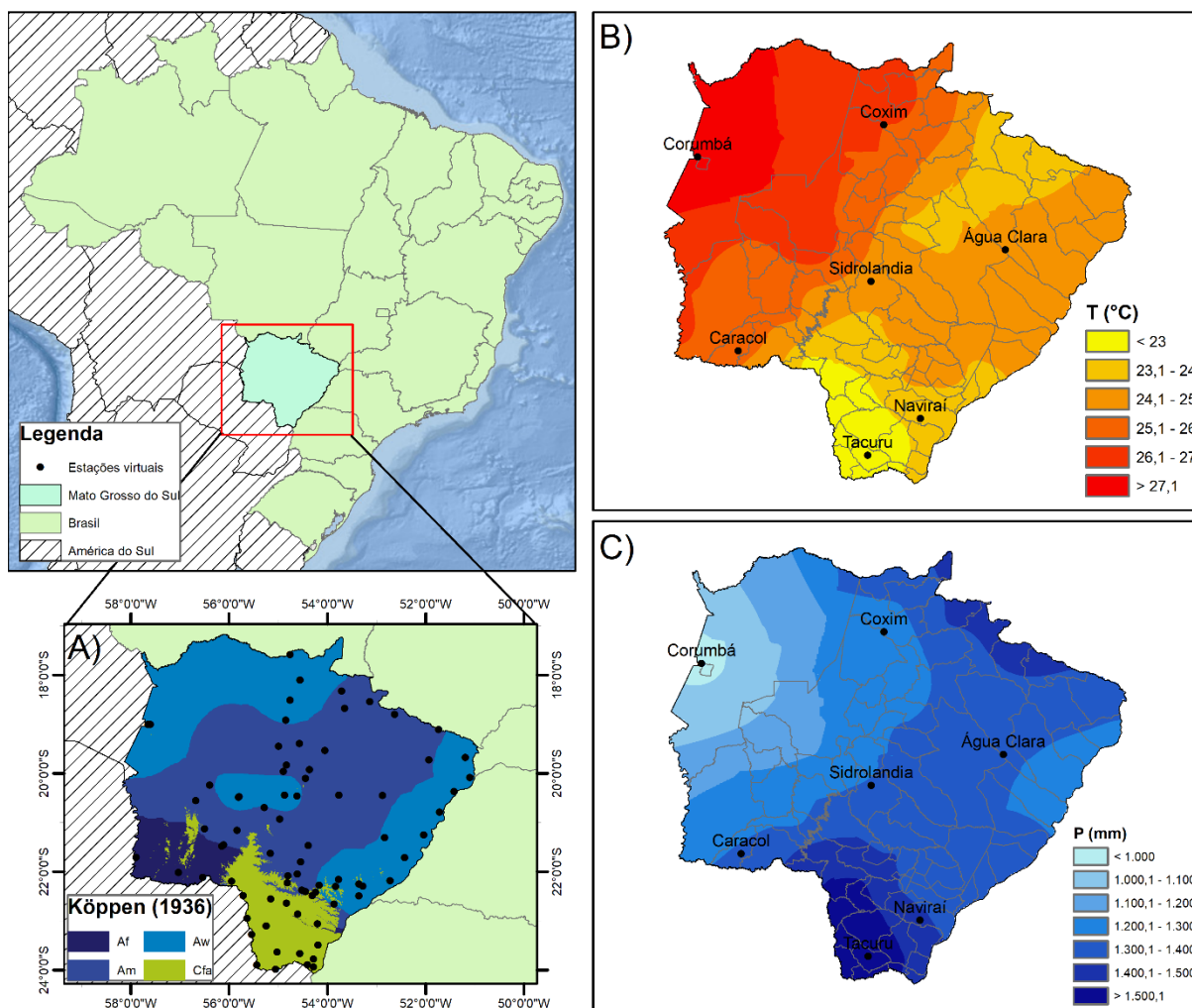
### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foram utilizados dados climáticos de umidade relativa ( $UR_{med}$ , %) e temperatura máxima ( $T_{max}$ ), mínima ( $T_{min}$ ) e média ( $T_{med}$ ) do ar (°C) obtidas em escala diária para 79 municípios (Figura 1). Os dados foram coletados na plataforma *National Aeronautics and Space Administration / Prediction of Worldwide Energy Resources* – NASA / POWER no período de 1990-2020, fornecendo dados meteorológicos com resolução espacial de 1° latitude-longitude (STACKHOUSE et al., 2015).

O Estado do Mato Grosso do Sul apresenta predomínio das classes climáticas Af (Tropical sem estação seca), Aw (Tropical inverno seco), Am (Tropical monção), e Cfa (Subtropical húmido sem estação seca no verão) de acordo com o sistema de classificação climática de Köppen (Figura 1 A) (ALVAREZ et al., 2013; DE OLIVEIRA APARECIDO et al, 2020). A temperatura média anual é de 24,3 ( $\pm 1,2$ ) °C (Figura 1 B) e precipitação anual de 1346

(±117) mm (Figura 1 C). Em relação a produção de soja, o Estado é o 5º maior produtor nacional com 11,4 milhões de toneladas na safra 2020/2021 (CONAB, 2021).

**Figura 1:** Mapa de localização e classe climática por Köppen (1936) da área de estudo (A) com as respectivas variações espacial da temperatura do ar (B) e precipitação pluviométrica (C).



Fonte: Autores (2021).

A ocorrência de ferrugem asiática da soja (FAS) foi determinada por meio da estimativa dos valores de umidade relativa para cada hora do dia através da temperatura do ponto de orvalho, umidade relativa máxima, umidade relativa mínima e a temperatura do ar. A temperatura do ponto de orvalho ( $T_{po}$ ) foi calculada utilizando a pressão de vapor de saturação na temperatura média ( $e_{s_{T_{med}}}$ ), pressão de vapor real para temperatura média ( $e_{a_{T_{med}}}$ ) derivada da  $UR_{med}$  e  $T_{med}$  (Equação 1-3) conforme descrito por Allen et al. (1998).

$$eS_{T_{med}} = 0.6108 \exp \left[ \frac{(17.27 \times T_{med})}{T_{med} + 237.3} \right] \quad (1)$$

$$ea_{T_{med}} = \frac{UR_{med}}{100} \times eS_{T_{med}} \quad (2)$$

$$T_{po} = \frac{237.7 \ln \left( \frac{ea_{T_{med}}}{0.6108} \right)}{17.27 - \ln \left( \frac{ea_{T_{med}}}{0.6108} \right)} \quad (3)$$

A umidade relativa máxima ( $UR_{max}$ ) e mínima ( $UR_{min}$ ) foram estimados utilizando dados da pressão de vapor de saturação na temperatura do ponto de orvalho ( $eS_{T_{po}}$ ) obtidos pela  $T_{po}$ , associados a pressão de vapor de saturação na temperatura máxima ( $eS_{T_{max}}$ ) e mínima ( $eS_{T_{min}}$ ) do ar (Allen et al., 1998) (Equação 4-8). O mesmo foi utilizado por Qiu et al. (2021).

$$eS_{T_{po}} = 0.6108 \exp \left[ \frac{(17.27 \times T_{po})}{T_{po} + 237.3} \right] \quad (4)$$

$$eS_{T_{min}} = 0.6108 \exp \left[ \frac{(17.27 \times T_{min})}{T_{min} + 237.3} \right] \quad (5)$$

$$eS_{T_{max}} = 0.6108 \exp \left[ \frac{(17.27 \times T_{max})}{T_{max} + 237.3} \right] \quad (6)$$

$$UR_{max} = \left[ \frac{eS_{T_{po}}}{eS_{T_{min}}} \right] \times 100 \quad (7)$$

$$UR_{min} = \left[ \frac{eS_{T_{po}}}{eS_{T_{max}}} \right] \times 100 \quad (8)$$

A temperatura do ar para cada hora do dia ( $T_{ar\_hr}$ ) foi estimada conforme estabelecido por Campbell (1985), favorecendo uma transição suave entre as temperaturas máximas ( $T_{max}$ ) e mínimas ( $T_{min}$ ) diárias (Equação 9).

$$T_{ar\_hr} = \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) + \left( \frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right) \times \cos (0.2618 \times (h - TimeVar)) \quad (9)$$

A umidade relativa para cada hora do dia ( $UR_{hr}$ ) foi determinada através da equação proposta por Waichler e Wigmosta (2003), utilizando os dados de  $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ,  $UR_{max}$  e  $UR_{min}$  associados a  $T_{ar\_hr}$  (Equação 10).

$$UR_{hr} = UR_{max} + \left[ \frac{(T_{air\_hr} - T_{min})}{(T_{max} - T_{min})} \right] \times (UR_{min} - UR_{max}) \quad (10)$$

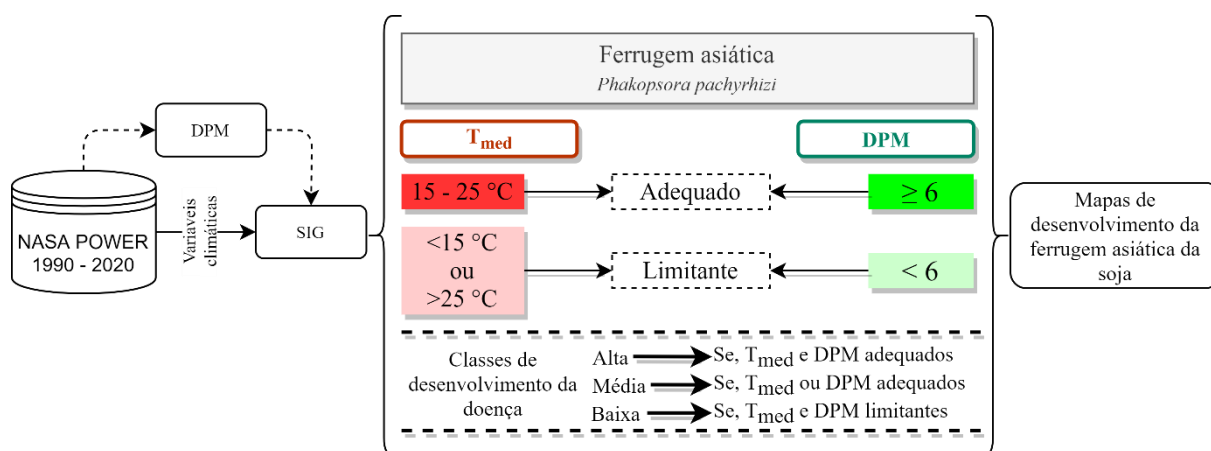
A duração do período de molhamento foliar (DPM) foi determinada pelo método sugerido por Monteith (1957), somando o número de horas com umidade relativa igual ou

superior a 90% ( $\geq 90\%$ ). Beruski et al. (2019) relata estimativas mais confiáveis para o DPM utilizando o número de horas com umidade relativa  $\geq 90\%$ .

Para determinar quais localidades apresentam maior suscetibilidade ao desenvolvimento da ferrugem asiática da soja (DFAS) foi utilizado uma temperatura média de 15 a 25 °C (RAMIREZ-CABRAL et al., 2019) e DPM  $\geq 6$  horas (BERUSKI et al., 2020) para os meses de setembro a fevereiro, período que representa o cultivo das lavouras de soja na região (GARCIA et al., 2018). Combinando as variáveis climáticas de  $T_{med}$  e DPM foram determinadas classes para o DFAS, sendo elas: alta para  $T_{med}$  e DPM adequados ao DFAS, média para  $T_{med}$  ou DPM limitantes ao DFAS e baixa para  $T_{med}$  e DPM limitantes ao DFAS.

Os mapas para todas as variáveis necessárias foram elaborados através de um sistema de informações geográficas (SIG), utilizando krigagem ordinária com um modelo esférico (KRIGE, 1951). Com a sobreposição de mapas foi obtido a delimitação espacial para o desenvolvimento da ferrugem asiática da soja. Todas as etapas para a elaboração do projeto estão descritas na Figura 2.

**Figura 2: Fluxograma descritivo da metodologia utilizada.**



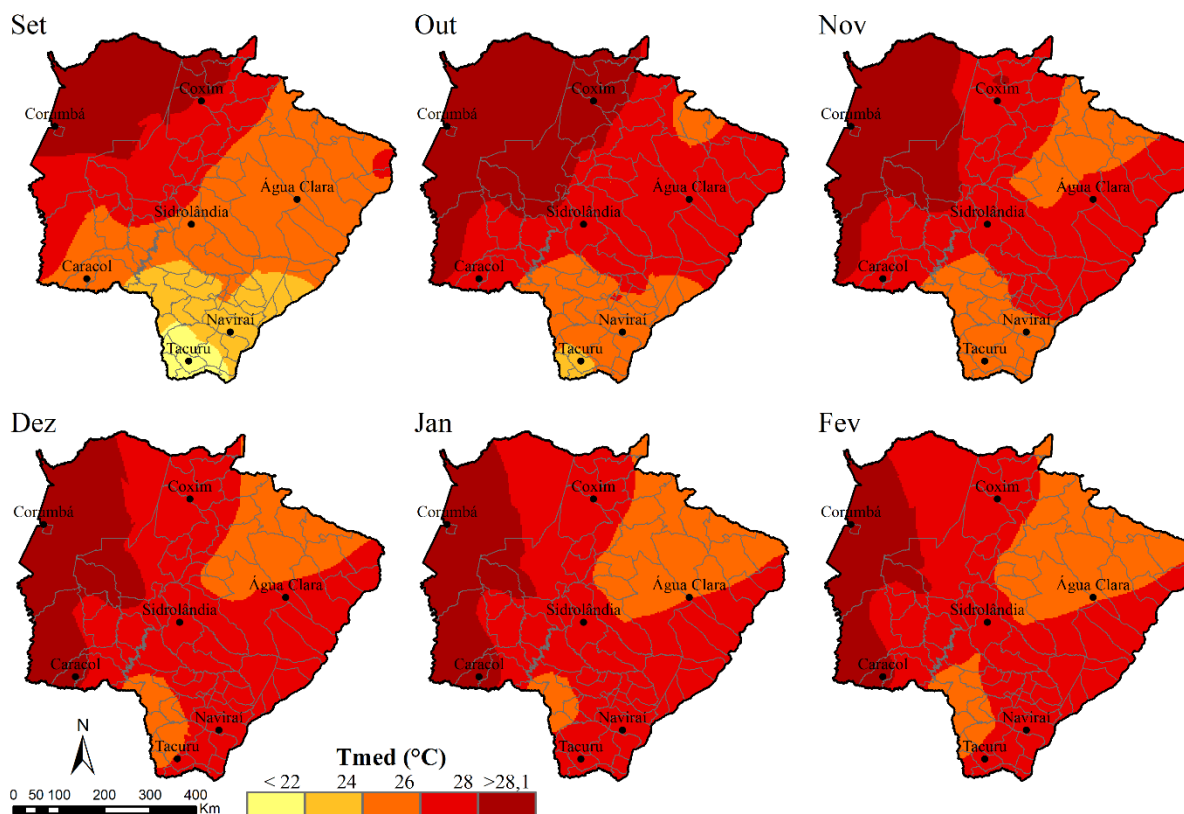
Fonte: Autores (2021).

#### 4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A temperatura média do ar variou de 21,5 °C a 30,6 °C nos meses avaliados (Figura 3). O mês de novembro foi caracterizado como o mais quente com média de 27,1 ( $\pm 1,4$ ) °C. Resultados semelhantes foram obtidos por Moraes et al (2019). A região oeste do Estado corresponde a mais quente com temperatura média superior a 28,1 °C em todos os meses. A região centro-sul do Estado apresenta menores temperatura média do ar no mês de setembro

com valores  $<22\text{ }^{\circ}\text{C}$  em Tacuru e entre  $22$  e  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  para o município de Naviraí e proximidades. O restante do período é caracterizado pelo aumento da temperatura registrando  $26,1$  a  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 3: Temperatura média do ar para o Mato Grosso do Sul.**

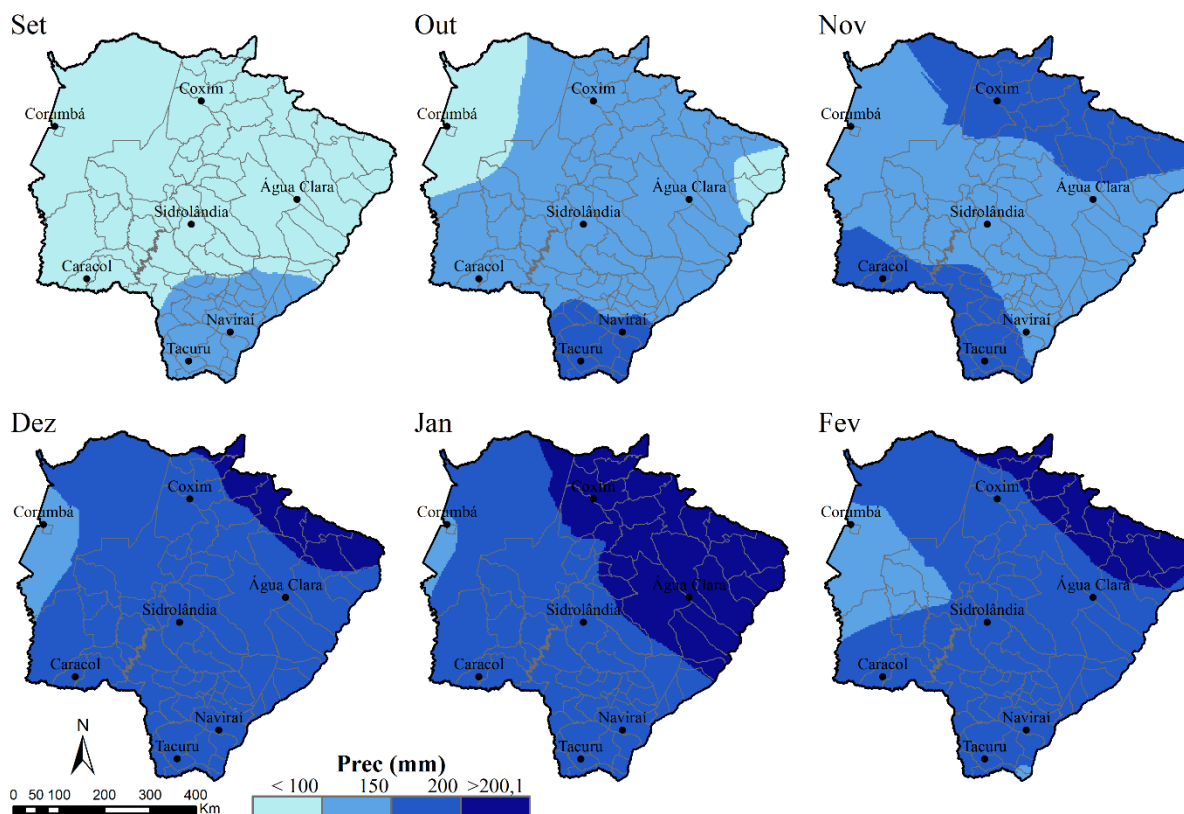


Fonte: Autores (2021).

Para a precipitação pluviométrica, o Mato Grosso do Sul apresentou grande variação, sendo a região pantaneira considerada a mais seca sendo observados volumes inferiores a 100 mm entre setembro e outubro (Figura 4). A região sul do Estado apresentou maiores volumes de chuva entre setembro e novembro, com precipitação entre 100 a 150 mm e 150 a 200 mm. Os meses mais chuvosos correspondem ao período de dezembro a fevereiro, sendo observado precipitação pluviométrica entre 150 a 200 mm na maior parte do estado, com exceção das regiões pantaneiras e nordeste do estado apresentando precipitação entre 100 a 150 mm e acima de 200,1 mm correspondendo as localidades mais secas e chuvosas respectivamente. Esses resultados estão de acordo com Aparecido et al. (2021).



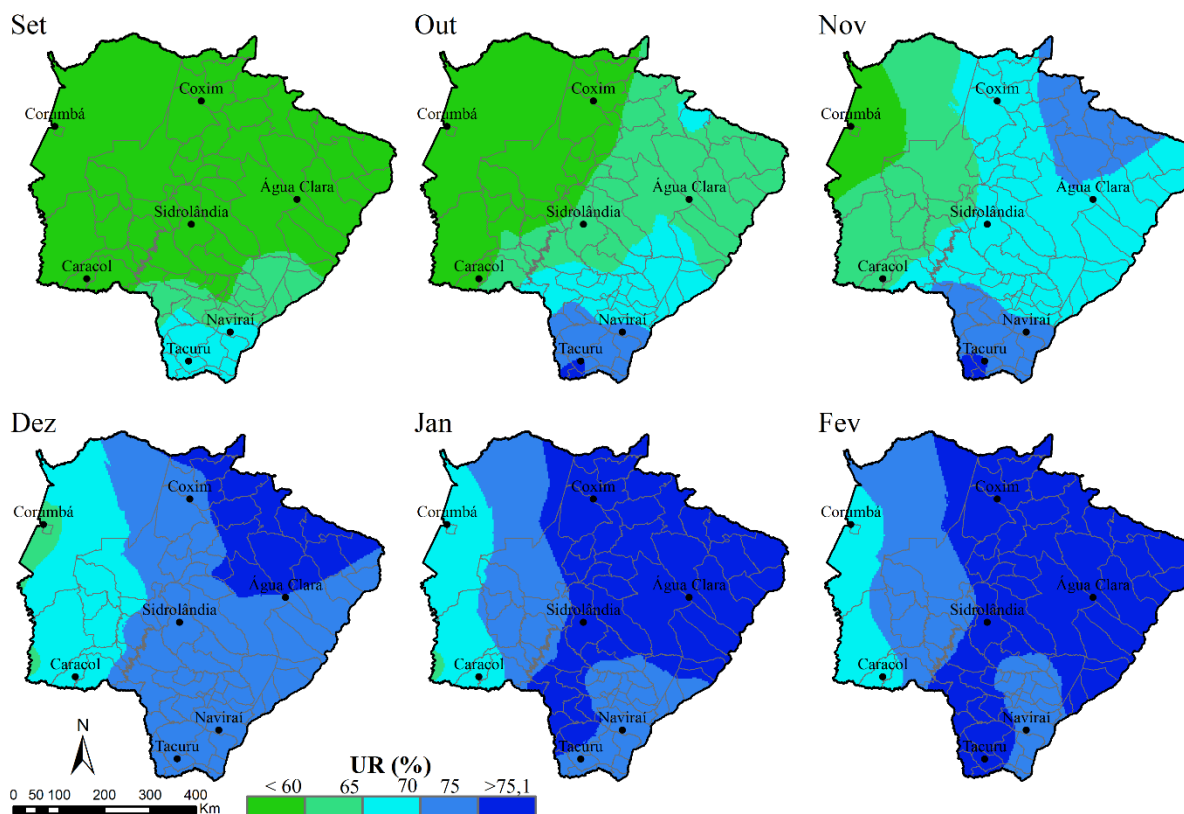
**Figura 4: Temperatura média do ar para o Mato Grosso do Sul.**



Fonte: Autores (2021).

A umidade relativa do ar apresentou grande variação espacial e temporal para o Mato Grosso do Sul (Figura 5). Os menores índices foram registrados em setembro com umidade relativa abaixo de <math>< 60\%</math> na maior parte do estado, com exceção da região sul do estado, onde foram registrados índices entre 65 e 70%. De modo geral, o período de setembro a novembro apresenta umidade relativa menores em toda a região correspondente ao pantanal sul-matogrossense. De maneira inversa a temperatura, a umidade relativa apresentou índices elevados de dezembro a janeiro com valores acima de 60% em todo o Estado. Janeiro e fevereiro são os meses mais úmidos, com umidade relativa superior a 75,1% na maior parte do estado, correspondendo diretamente com o aumento da precipitação nesse período.

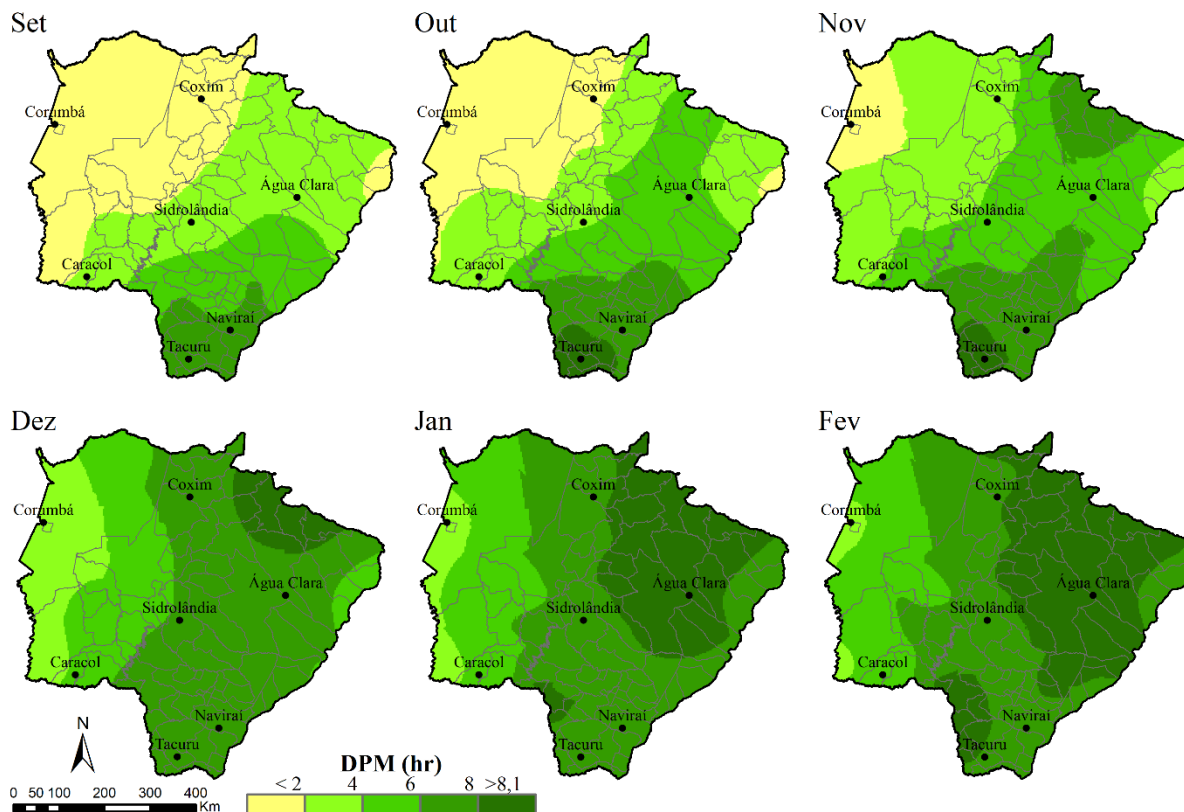
**Figura 5: Umidade relativa para o Mato Grosso do Sul.**



Fonte: Autores (2021).

Em relação a duração do período de molhamento foliar (Figura 6), os valores obtidos apresentam correspondência direta com os dados de umidade relativa. Os menores valores para o DPM foram registrados nas regiões norte e oeste do Mato Grosso do Sul com valores abaixo de 2 horas nos meses de setembro a novembro. Resultados evidenciados por Furtado et al. (2010) demonstraram perda da capacidade infectiva dos uredósporos de *Phakopsora pachyrhizi* com DPM <4 horas seguidas, devido o tempo insuficiente para a penetração das hifas. O mesmo período apresentou DPM entre 6 a 8 e superior 8,1 horas para a região sul do Estado. Em dezembro e fevereiro toda a região leste do Mato Grosso do Sul apresentou DPM entre 6 a 8 e superior 8 horas. Resultados corroborando com Alvarez et al. (2015).

**Figura 6: Duração do período de molhamento foliar.**



Fonte: Autores (2021).

O desenvolvimento da ferrugem asiática da soja (DFAS) apresentou a ocorrência de todas as três classes avaliadas: baixa, média e alta (Figura 7). A DFAS apresentou influência positiva para o aumento do DPM e negativa para a elevação da temperatura média do ar, uma vez que a esporulação de fungos, germinação de esporos e infecção, podem se inibidos fora de certos intervalos de temperatura reduzindo assim a probabilidade de doença (SILVA et al., 2018).

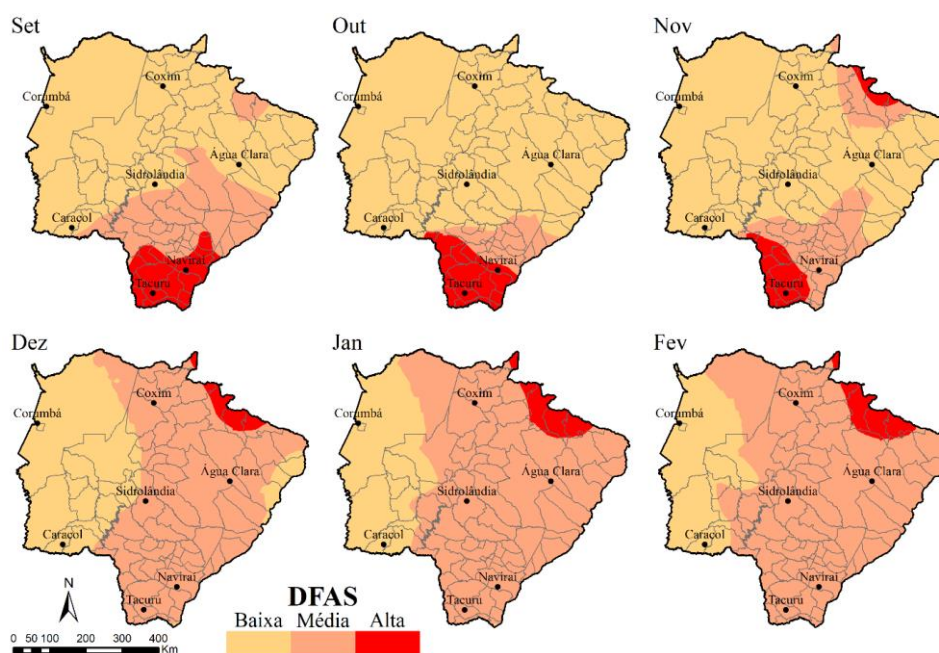
A classe baixa para a DFAS apresentou maior predomínio entre setembro e outubro com 69,4%, 85,9% e 77,1% (Tabela1) respectivamente, correspondendo as regiões leste, oeste e norte, localidades caracterizadas pela temperatura média do ar elevada e baixo DPM. Em contra partida, as localidades com DPM elevado e temperatura do ar mais amenas, apresentaram predomínio da classe alta para DFAS, sendo restrita ao sul do Estado e uma pequena localidade ao norte, representando 7,9%, 7,4% e 5,8% (Tabela 1) para os meses de setembro a novembro

respectivamente. Resultados obtidos por Ramirez-Cabral et al. (2018), destacaram maior desenvolvimento da ferrugem asiática da soja nos estados da região sul, sudeste e todo litoral brasileiro.

A classe média para a DFAS pouco expressiva para os meses de setembro (22,7%), outubro (6,7%) e novembro (17,1%), apresenta maior predomínio percentual no estado, com 59,4%, 70,5% e 73,5% (Tabela 1) nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro respectivamente. No mesmo período, a DFAS baixa apresentou maior predomínio no oeste do Estado, com 38,1%, 25,5% e 22,2% (Tabela 1) respectivamente. Em relação a classe alta para a DFAS, apenas no nordeste do Estado representando 2,5%, 4,0% e 4,3% (Tabela 1) para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Os resultados obtidos constituem premissas importantes para a tomada de decisão, subsidiando o momento oportuno e eficiente para aplicação de agroquímicos, minimizar os impactos ambientais da agricultura e reduzindo custos (PERANSONI et al., 2020). Localidades que apresentam DFAS média e alta devem intensificar o monitoramento da doença, visto que, as condições climatológicas são ótimas ao estabelecimento e desenvolvimento do patógeno. Além disso, avaliações mais complexas utilizando modelos de previsibilidade para a ferrugem asiática da soja, constituem técnicas mais sofisticadas para manejar de forma eficiente danos potenciais do patógeno (NUNES; DA SILVA MARTINS; DEL PONTE, 2018).

**Figura 7: Desenvolvimento da ferrugem asiática da soja.**



Fonte: Autores (2021).

As principais estratégias adotadas para o manejo da ferrugem asiática da soja incluem: vazios sanitários para redução do inóculo do fungo, semeadura no início da época recomendada, utilização de cultivares resistentes e utilização de fungicidas no início dos sintomas, visando reduzir o número de aplicações de fungicidas ao longo da safra (GODOY et al., 2020). As principais práticas de manejo da doença constituem caráter preventivo e devem ser realizadas conjuntamente, visto que, o monitoramento da lavoura é necessário para que os métodos de controle sejam aplicados com efetividade (PELIN; WORDELL FILHO; NESI, 2020).

O controle para ferrugem asiática da soja mais utilizado consiste em aplicações de fungicidas de modo calendarizado gerando aplicações desnecessárias, fato esse responsável por aumentar os custos de produção e impactar o ambiente, principalmente em regiões onde há grande variação anual no comportamento da doença (NUNES; DA SILVA MARTINS; DEL PONTE, 2018).

**Tabela 1: Porcentagem de classes de desenvolvimento para ferrugem asiática da soja (DFAS).**

Mês	DFAS (%)		
	Alta	Média	Baixa
Set	7,9	22,7	69,4
Out	7,4	6,7	85,9
Nov	5,8	17,1	77,1
Dez	2,5	59,4	38,1
Jan	4,0	70,5	25,5
Fev	4,3	73,5	22,2

Fonte: Autores (2021).

## 5 CONCLUSÕES

A temperatura do ar associada a duração do período de molhamento foliar demonstrou grande variabilidade espacial e temporal para o desenvolvimento da ferrugem asiática da soja no Mato Grosso do Sul.

A classe alta para desenvolvimento da ferrugem asiática da soja, apresenta maior intensidade nas regiões sul entre setembro a novembro, e nordeste do Estado entre dezembro a fevereiro. Localidades como Costa Rica, Jatei, Juti e Ivinhema são grandes produtoras de soja e pertencem a essas regiões com classe alta.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. FAO Irrigation and drainage paper No. 56. **Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations**, v. 56, n. 97, p. e156, 1998.

ALVARES, C. A.; DE MATTOS, E. M.; SENTELHAS, P. C.; MIRANDA, A. C.; STAPE, J. L. Modeling temporal and spatial variability of leaf wetness duration in Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 120, n. 3, p. 455-467, 2015.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, 113(3-4), 407-427, 2013.

APARECIDO, L. E. O.; MORAES, J. R. S. C.; MENESES, K. C.; TORSONI, G. B.; LIMA, R. F.; COSTA, C. T. S. Köppen-Geiger and Camargo climate classifications for the Midwest of Brasil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 142, n. 3, p. 1133-1145, 2020.

APARECIDO, L. E. O.; TORSONI, G. B.; MORAES, J. R. S. C.; MENESES, K. C.; LORENÇONE, J. A.; LORENÇONE, P. A. Modeling the impact of agrometeorological variables on soybean yield in the Mato Grosso Do Sul: 2000–2019. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 4, p. 5151-5164, 2021.

ARAUJO, L. M.; GODOY, C. V. Eficiência de fungicidas no controle da ferrugem-asiática da soja, na safra 2018/19, em Londrina, PR. In: **Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 14., 2019, Londrina. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2019. 163 p. (Embrapa Soja. Documentos, 415)., 2019.

BÁEZ, M. S. A.; PETRY, M. T.; CARLESSO, R.; BASSO, L. J.; DA ROCHA, M. R.; RODRIGUEZ, G. J. Balanço hídrico e produtividade da soja cultivada sob diferentes níveis de déficit hídrico no sul do Brasil. **Investigación Agraria**, v. 22, n. 1, p. 03-12, 2020.

BERUSKI, G. C., SENTELHAS, P. C., DE ARAÚJO JÚNIOR, I. P., PEREIRA, A. B., & DEL PONTE, E. M. RENTABILIDADE DO USO DE SISTEMAS DE ALERTA PARA O CONTROLE DE FERRUGEM ASIÁTICA COM DIFERENTES FUNGICIDAS NO MATO GROSSO. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Fitossanidade**. 2018.

BERUSKI, G. C.; GLEASON, M. L.; SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. B. Leaf wetness duration estimation and its influence on a soybean rust warning system. **Australasian Plant Pathology**, v. 48, n. 4, p. 395-408, 2019.

BERUSKI, G. C.; GLEASON, M. L.; SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. B. Leaf wetness duration estimation and its influence on a soybean rust warning system. **Australasian Plant Pathology**, v. 48, n. 4, p. 395-408, 2019.

CAMPBELL, G. S. **Soil physics with BASIC: transport models for soil-plant systems**. Elsevier, 1985.

CEPEA. **PIB do agronegócio brasileiro e 1996 a 2018**. CEPEA, Piracicaba, 2020. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegociobrasileiro.aspx>>. Acesso em: 13 ago. 2021.

COLUSSI, J.; WEISS, C. R.; DE SOUZA, Â. R. L.; DE OLIVEIRA, L. O agronegócio da soja: Uma análise da rentabilidade do cultivo da soja no Brasil. **Revista ESPACIOS| Vol. 37 (Nº 16) Año 2016**, 2016.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento safra brasileira de grãos**, v. 8 - Safra 2020/2021, n 10, Brasília, p. 1-108, agosto 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 17 ago. 2021.

DE OLIVEIRA, G. M.; HELING, A. L.; POSSAMAI, E. J.; SEIXAS, C. D. S.; CONTE, O.; IGARASHI, W. T.; IGARASHI, S. Coletor de esporos: descrição, uso e resultados no manejo da ferrugem-asiática da soja. **Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2020.

EINHARDT, A. M.; FERREIRA, S.; HAWERROTH, C.; VALADARES, S. V.; RODRIGUES, F. Á. Nickel potentiates soybean resistance against infection by *Phakopsora pachyrhizi*. **Plant Pathology**, v. 69, n. 5, p. 849-859, 2020.

FURTADO, G.Q.; MORAES, R.S.G.; ALVES, S.A.M.; AMORIN, L.; Massola Júnior, N.S. The Infection of Soybean Leaves by *Phakopsora pachyrhizi* during Conditions of Discontinuous Wetness. **Journal of Phytopathology**, Hoboken, v.159, p.165-170. 2010.

GARCIA, R. A.; CECCON, G.; SUTIER, G. A. D. S.; SANTOS, A. L. F. D. Sucessão soja/milho em função da época de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 1, p. 22-29, 2018.

GARDIANO, C. G.; BALAN, M. G.; FALKOSKI FILHO, J.; DE CAMARGO, L. C. M.; DE OLIVEIRA, G. M.; IGARASHI, W. T.; ABI SAAB, O. J. G.; CANTERI, M. G. Chemical management of the soybean Asian rust based on different monitoring methods. **Arquivos do Instituto Biológico (São Paulo)**, v. 77, n. 3, p. 497-504, 2010.

GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; MEYER, M. C.; SOARES, R. M. Ferrugem-asiática da soja: bases para o manejo da doença e estratégias antirresistência. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, p. 39, 2020.

GOELLNER, K.; LOEHRER, M.; LANGENBACH, C.; CONRATH, U.; KOCH, E.; SCHAFFRATH, U. *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of Asian soybean rust. **Molecular plant pathology**, v. 11, n. 2, p. 169-177, 2010.

HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. Compendium of soybean diseases and pests. St. Paul, MN: **American Phytopathological Society**, 2015.

HERSHMAN, D. E.; SIKORA, E. J.; GIESLER, Loren J. Soybean rust PIPE: Past, present, and future. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 2, n. 2, p. D1-D7, 2011.

HIRAKURI, M. H. Perdas econômicas geradas por estresses bióticos e abióticos na produção brasileira de soja no período 2016-2020. **Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2021.

HIRAKURI, M.; CONTE, O.; PRANDO, A.; CASTRO, C. D.; BALBINOT JUNIOR, A. A Diagnóstico da produção de soja nas macrorregiões sojícolas 2 e 3. **Embrapa Soja-**

Documentos (INFOTECA-E), 2020.

IGARASHI, W. T.; SILVA, M. A. D. A.; FRANÇA, J. A. D.; IGARASHI, S.; SAAB, O. J. G. A. Estimation of soybean leaf wetness from meteorological variables. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 10, p. 1087-1092, 2018.

ISHIWATA, Y. I.; FURUYA, J. Evaluating the contribution of soybean rust-resistant cultivars to soybean production and the soybean market in Brazil: A supply and demand model analysis. **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1422, 2020.

JIAN, L. I. U.; AIXIN, R. E. N.; RAN, L. I. U.; TAO, J. I.; HUIYING, L. I. U.; MING, L. I. Estimation Model of Cucumber Leaf Wetness Duration Considering the Spatial Heterogeneity of Solar Greenhouse. **Smart Agriculture**, v. 2, n. 2, p. 135, 2020.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, v. 52, n. 6, p. 119-139, 1951.

LANGENBACH, C.; CAMPE, R.; BEYER, S. F.; MUELLER, A. N.; CONRATH, U. Fighting Asian soybean rust. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 797, 2016.

MAGNANI, E. B. Z.; ALVES, E.; ARAÚJO, D. V. Eventos dos processos de pré-penetração, penetração e colonização de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 156-160, 2007.

MONTEITH, J. L. Dew. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 83, n. 357, p. 322-341, 1957.

MORAES J. R. DA S. C. DE; APARECIDO, L. E. DE O.; COSTA, C. T. DA S.; MORAIS, L. C.; LORENÇONE, P. A. Performance do modelo ECMWF para estimar a temperatura do ar e precipitação pluvial em Mato Grosso do Sul. Naviraí: IFMS. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), **III EIGEDIN**, 2019.

MURITHI, H. M.; BEED, F.; TUKAMUHABWA, P.; THOMMA, B. P. H. J.; JOOSTEN, M. H. A. J. Soybean production in eastern and southern Africa and threat of yield loss due to soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi*. **Plant pathology**, v. 65, n. 2, p. 176-188, 2016.

NEPOMUCENO, A. L.; JUNIOR, A. A. B.; RUFINO, C. F. G.; DEBIASI, H.; NOGUEIRA, M. A.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G.; BUNGENSTAB, D. J.; DALL'AGNOL, V. F. Programa SBC-Soja Baixo Carbono: um novo conceito de soja sustentável. **Embrapa Soja-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2021.

NUNES, C. D. M.; DA SILVA MARTINS, J. F.; DEL PONTE, E. M. Validação de Modelo de Previsão de Ocorrência da Ferrugem Asiática da Soja com Base em Precipitação Pluviométrica. **Embrapa Clima Temperado-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, p. 1-13, 2018.

OLIVEIRA, A. P.; FERREIRA B.; S. BIOTECNOLOGIA ALIADA DA AGRICULTURA E NA PRODUTIVIDADE DA SOJA. **REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE CIÊNCIAS APLICADAS DA FAIT**. n. 2, 2020.



PELIN, C.; WORDELL FILHO, J. A.; NESI, C. N. Ferrugem asiática da soja: etiologia e controle. **Agropecuária Catarinense**, v. 33, n. 3, p. 18-21, 2020.

PERANSONI, A. D. C. M.; PEREIRA FILHO, W.; KRAMER, G. K.; DA ROSA, C. N. CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS ASSOCIADAS A OCORRÊNCIA DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA NA FASE ASSINTOMÁTICA. **Geoambiente On-line**, n. 37, p. 238-260, 2020.

QI, M.; GRAYCZYK, J. P.; SEITZ, J. M.; LEE, Y.; LINK, T. I.; CHOI, D.; PEDLEY, K. F.; VOEGELE, R. T.; BAUM, T. J.; WHITHAM, S. A. Suppression or activation of immune responses by predicted secreted proteins of the soybean rust pathogen *Phakopsora pachyrhizi*. **Molecular plant-microbe interactions**, v. 31, n. 1, p. 163-174, 2018.

QIU, R.; LI, L.; KANG, S.; LIU, C.; WANG, Z.; CAJUCOM, E. P.; ZHANG, B.; AGATHOKLEOUS, E. An improved method to estimate actual vapor pressure without relative humidity data. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 298, p. 108306, 2021.

RAMIREZ-CABRAL, N. Y. Z.; KUMAR, L.; SHABANI, F. Global risk levels for corn rusts (*Puccinia sorghi* and *Puccinia polysora*) under climate change projections. **Journal of Phytopathology**, v. 165, n. 9, p. 563-574, 2017.

Reis, E. M.; Reis, A. C.; Carmona, M.; Danelli, A. L. D. Ferrugem asiática. In: Reis, E. M.; Casa, R. T. Doenças da soja: etiologia, sintomatologia, diagnose e manejo integrado. **Berthier**, Passo Fundo, 2012.

ROSA, C. R. E.; SPEHAR, C. R.; LIU, J. Q. Asian soybean rust resistance: an overview. **J Plant Pathol Microb**, v. 6, n. 307, p. 2, 2015.

SCHMIDT, C. A. P.; TAYANO, P. D.; DOS SANTOS, J. A. A.; MARUJO, L.; DE PROENÇA, G. G. Previsões Estatísticas com base em Séries Temporais da Cultura da Soja no Brasil. **Revista Técnico-Científica**, n. 24, 2020.

SILVA, C.; SILVA, C.; MARQUES, F.; FINOTT, C. CONTROLE QUÍMICO DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA EM DIFERENTES SISTEMAS DE APLICAÇÕES. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 17, n. 32, 2020.

SILVA, H. R.; POZZA, E. A.; SOUZA, P. E.; FERREIRA, M. A.; FREITAS, A. S.; MOREIRA, S. I. *Cercospora* leaf spot in *Toona ciliata*: Epidemiology and infection process of *Cercospora* cf. *alchemillicola*. **Forest Pathology**, v. 48, n. 6, p. e12451, 2018.

WAICHLER, S. R.; WIGMOSTA, M. S. Development of hourly meteorological values from daily data and significance to hydrological modeling at HJ Andrews Experimental Forest. **Journal of Hydrometeorology**, v. 4, n. 2, p. 251-263, 2003.

XAVIER, S.A.; KOGA, L.J.; BARROS, D.C.M.; CANTERI, M.G.; LOPES, I.O.N.; GODOY, C.V. Variação da sensibilidade de populações de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas inibidores da desmetilação no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.41, n.3, p.191-196, 2015.